УДК 621.913

С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна
вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84300

КОНЦЕПЦІЯ РЕКОНФІГУРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА НА БАЗІ МОБІЛЬНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

S.V. Kovalevskyy, O.S. Kovalevska
Donbass State Engineering Academy, Ukraine
72, Akademichna str., Kramatorsk, 84300

CONCEPT OF RECONFIGUATED PRODUCTION ON THE BASE OF MOBILE INTELLIGENT TECHNOLOGY MACHINES

Запропоновано підхід, при якому формування складу і обсягу основного та допоміжного обладнання в механоскладальному виробництві визначається не сформованими традиціями і можливостями його поновлення, а тією номенклатурою виробів, яка на даний момент часу є актуальною і найбільш затребуваною. Такий підхід дозволяє адаптувати можливості виробництва до випуску різних виробів. Особливості верстатів на базі механізмів з кінематикою паралельної структури дозволяють прогнозувати еволюцію механоскладального виробництва в напрямку подальшого збільшення гнучкості виробництва за рахунок реконфігурації ділянок механічної обробки шляхом оснащення їх інтелектуальними верстатами-роботами з нормалізованих елементів з широкодіапазонним розмірним рядом.

Ключові слова: верстати – роботи, паралельна кінематика, реконфігуроване виробництво.

An approach is suggested in which the formation of the composition and volume of the main and auxiliary equipment in the mechanical assembly production is determined not by the established traditions and the possibilities for its renewal, but by the nomenclature of products, which at the moment is topical and most in demand. This approach allows you to adapt the production capabilities to produce different products. The features of machine tools on the basis of mechanisms with kinematics of parallel structure allow predicting the evolution of the mechanical assembly production in the direction of further increasing the flexibility of production by reconfiguring the machining sites by equipping them with intelligent machine tools from normalized elements with a wide-range size series.

Keywords: machines - work, parallel kinematics, reconstructed production.

Вступ

Виробничі потужності, що створені на машинобудівних і переробних підприємствах, відрізняються значною різноманітністю – від універсального до високоавтоматизованого обладнання і автоматизованих комплексів з програмним керуванням (КПК).

Висока вартість гнучких виробничих комплексів (ГВС) – одна з головних причин для низького рівня прийняття або задоволення. На відміну від спеціалізованих систем, машини КПК не проектовані навколо частини. Скоріше верстати з ПК загального призначення побудовані раніше, ніж виробник вибирає машини, і раніше, ніж планування процесу буде почато, щоб верстат і процес пристосувати до деталі. Гнучкі системи та машини створені з усіма можливими функціональними можливостями, бо виробник верстатів заздалегідь не знає область використання оброблюючого центру, чим створює основні витрати, тим самим забезпечуючи загальне припущення, що ГВС спроможний виробити будь-який виріб (у межах заданого сімейства), у будь-якому поєднанні деталей і у будь-якій послідовності. Цей підхід збільшує вартість, тому що це вимагає паралельної системної структури для ГВС, що використовує потужні оброблюючі центри

загального призначення з дуже великим журналом інструментів і багаторазових наборів інструментів, що є дуже дорогим рішенням.

Постановка проблеми

Вдосконалення виробничо-технологічних систем є найважливішою складовою освоєння випуску нової продукції, здатної конкурувати на машинобудівному ринку тривалий період часу. Проблеми, пов'язані з використанням обладнання, що сформувало ці виробничі потужності, представляються нам спільними і викликані тим, що традиційні технологічні системи обробки матеріалів наблизилися до своєї технологічної межі і практично повністю вичерпали свої ресурси і можливості для значного підвищення техніко-економічних показників [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

До числа проблем належить забезпечення технологічної гнучкості устаткування в умовах багатономенклатурних виробництв з широким діапазоном параметрів продукції, а одним із шляхів вирішення цієї проблеми є концепція основного обладнання, що реконфігурується [10-18]. Особливі перспективи поновлення верстатного парку механоскладальних цехів відкривають мобільні верстати-роботи на основі механізмів з кінематикою паралельної структури [6,3,9,5,4].

Реконфігуруючі виробничі системи (РВС) – це новий виробничий підхід, що не тільки комбінує високу пропускну здатність спеціалізованих ліній із гнучкістю ГВС, але також у стані реагувати на зміни швидко й ефективно. Це досягнуто через: дизайн системи і її машин, що пристосовує структури, які допускають системну масштабованість у відповідь на запити ринку та системну адаптованість до нових продуктів. Структура може бути відкоригована на системному і машинному рівнях (зміна машинних апаратних засобів і програмного забезпечення керування; наприклад, додаючи шпинделі, або змінний магазин інструментів) [10,9].

Функціональні можливості і вартість визначають розходження між виробничими системами, що реконфігуруються, традиційними автоматичними лініями і ГВС. У той час як автоматичні лінії та ГВС установлені в повних функціональних можливостях, реконфігуруючі виробничі системи змінюють здатності та функціональні можливості протягом довгого часу, оскільки система реагує на ринкові обставини, що змінюються.

Таким чином, системи, що реконфігуруються, відрізняються від існуючих систем своєю здатністю до змін. Головною перевагою є можливість мати саме задану гнучкість під продукцію, що виготовляється. Для виробників також дуже вигідним є і той факт, що при своїй здатності до гнучкості, РВС значно дешевші, ніж існуючі гнучкі системи. Це пов’язано з використанням більш дешевого обладнання.

Формування прогресивного способу механоскладального цеху вимагає конкретизації його особливостей аналогічно схемі запропонованих причинно-наслідкових зв'язків (рис.1).

Як показано в схемі, застосування мобільних верстатів з використанням механізмів вимагає забезпечення складного характеру управління їх виконавчими ланками, які базуються на принципово нових методах і способах контролю та діагностики нового обладнання, технологічних процесів і продукції. А впровадження мобільних верстатів забезпечує:

- зміну структури виробничого середовища за рахунок зміни компонування обладнання, організації робочого простору, транспортування;
- зміну властивостей компонентів довкілля;
- зниження інформаційної ентропії середовища;

- зміну енергетичної насиченості середовища;
- зміну інформаційної насиченості середовища;
- зміну інтелектуальних властивостей середовища.

Цей перелік базується на розробці операцій технологічного, енергетичного, інформаційного та комунікаційного забезпечення виробництва.

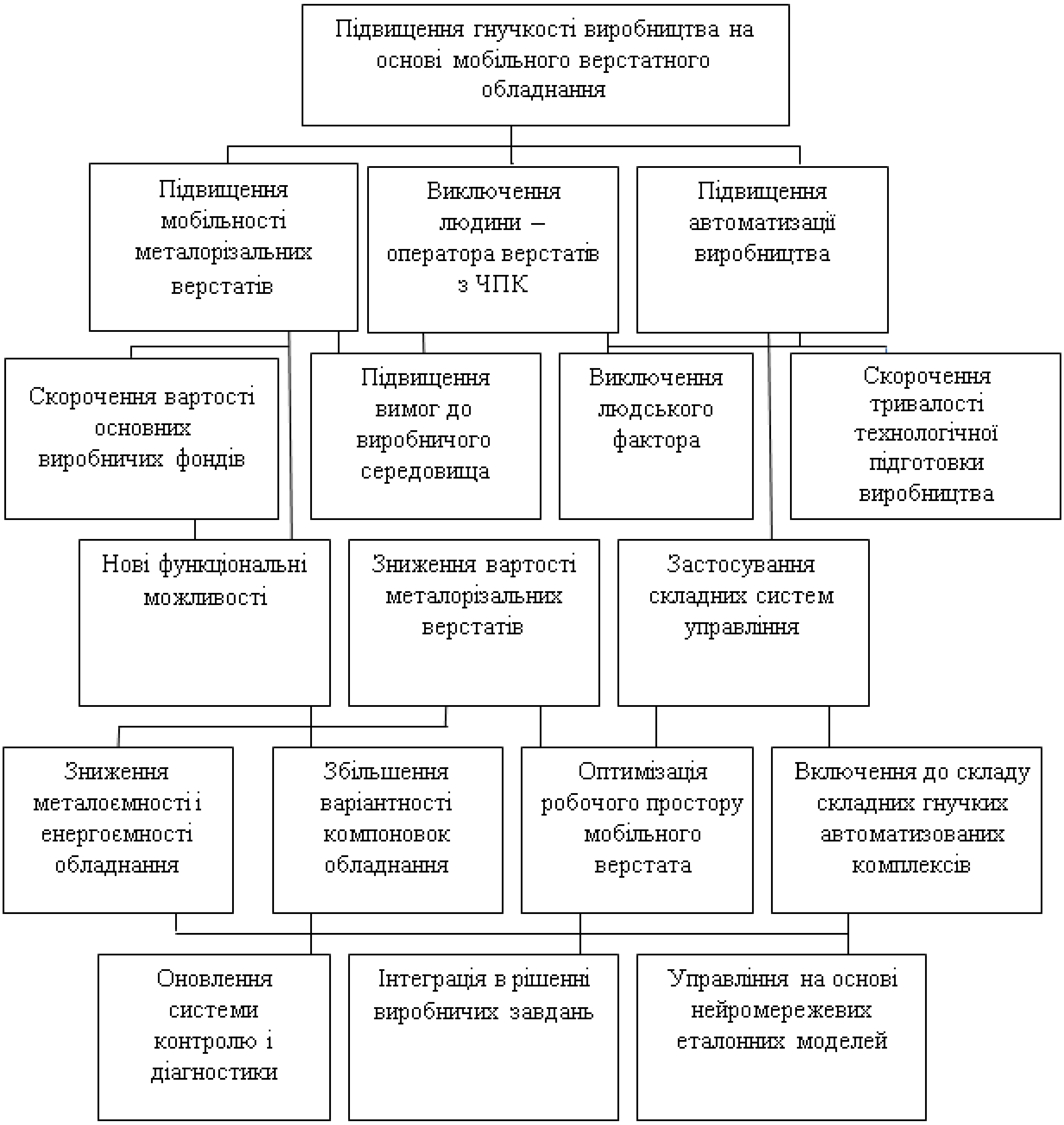


Рис. 1. Взаємозв'язок ознак виробництва на базі мобільних верстатів з кінематикою паралельної структури

На відміну від мобільних роботів, тут під робочим середовищем слід розуміти середовище оброблюваної деталі або виробу, що збирається. Як відомо, для процесів обробки заготовок деталей і складання машин потрібна точність рухів виконавчого

механізму. Еталонна модель також вимагає високої точності реалізації (у межах 1-2 мкм). У цьому полягає відмінність робіт з досліджень мобільних адаптивних роботів і робіт з досліджень в області створення мобільних інтелектуальних верстатів-роботів. Звичайно, такий рівень автономності мобільних верстатів є найвищим.

У роботах [6,5] наведені обґрунтування необхідності оптимізації управління складними механізмами технологічних машин, а також представлені моделі процесів ефективного, за критеріями витрат енергії, управління обладнанням з паралельною кінематикою з використанням їх динамічної та статичної моделей. Показано, що в незаданому діапазоні швидкостей робочого органу при реалізації такого управління можна не враховувати маси та інерційні параметри елементів такого обладнання. Однак, основні переваги обладнання з паралельною кінематикою найбільш яскраво проявляються в умовах великих швидкостей переміщення виконавчих механізмів при заданій точності траєкторії переміщення інструмента та його позиціонування.

Мета досліджень – побудувати нейромережеву еталонну модель для діагностики поточних характеристик об'єкта.

Виклад основного матеріалу

Нами розроблено метод ідентифікації положення, кінематичних і динамічних параметрів механізмів з кінематикою паралельної структури, з яких складаються мобільні верстати-роботи. Збудження конструкції експериментального бланка малопотужним акустичним сигналом з розподілом сигналів однакової амплітуди дозволяє встановлювати залежності $F(A,t) \equiv x(t), y(t), z(t)$, де $F(A,t)$ – збуджуючий сигнал, $x(t), y(t), z(t)$ – координати актуальної точки об'єкта. Ці дані можуть бути використані для управління позиціонуванням виконавчої ланки механізму з паралельною кінематикою. У зв'язку з цим, метою представленого дослідження є підтвердження можливості багатокомпонентного аналізу параметрів об'єктів (процесів і обладнання). Як інформативне джерело діагностичного сигналу, слід використовувати його амплітудно-частотну характеристику власних коливань об'єкта в акустичному діапазоні.

Для досліджень використано алгоритм швидкого обчислення дискретного перетворення Фур'є [2] за допомогою FFT-аналізатора.

Оцінка спектральної щільності проводиться за відомою реалізацією ХР (t) сигналу шляхом формування дискретної послідовності x (n), n → 0,1, ..., N 1 і обробки цієї послідовності відповідно до заданого квантування.

Управління виконавчими рухами технологічних машин з механізмами паралельної структури являє собою складну задачу, рішення якої може бути отримано на основі рішення задач кінематики та динаміки виконавчих механізмів. У результаті можуть бути створені умови для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їх рухів по заданій траєкторії. Для цих цілей системи управління повинні бути оснащені інформативними системами ідентифікації об'єктів. Для підтвердження цього пропонуються результати експериментальних досліджень, які дають підстави для створення систем діагностики кінематики і динаміки механізму, на базі якого авторами створюються мобільні верстати-роботи для застосування в реконфігурованих виробничих системах механічної обробки.

Вибір діагностованих характеристик об'єкта визначається завданнями управління об'єктами:

- підвищення точності позиціювання виконавчого механізму об'єкта;

- забезпечення динамічного настроювання виконавчого механізму;
- оптимізація траєкторій переміщень робочого органу.

Устаткування для проведення експериментальних досліджень:

- експериментальний стенд у вигляді дельта-механізму, що представляє собою групу механізмів на основі паралельної кінематики, який оснащений системою числового програмного керування на базі плати MEGA 2650, що забезпечує програмування управління стендом за допомогою G-кодів;
- дві звукові карти, встановлені на двох комп'ютерах з операційною системою Windows XP;
- п'єзоелектричні випромінювач і датчик;
- підсилювач сигналу збудження «білим шумом», потужністю 2 Вт.

Програмне забезпечення:

- комп'ютерний пакет Spectrolab;
- комп'ютерний пакет NeuroPro-0,25;
- комп'ютерний пакет Statistica 10.

Планом експериментів передбачалися залежності між параметрами спектра акустичного сигналу із заданою дискретністю, порушеною збудженим впливом у вигляді «білого шуму». Авторами висунуто припущення про можливість діагностики характеристик досліджуваних об'єктів, інваріантною стосовно похибок, що вносяться апаратною частиною системи діагностики. Це припущення ґрунтується на тому, що діагностичний сигнал має початкові значення ступенів акустичного спектру, що формуються «білим шумом» тими ж інформаційними каналами і тими ж апаратними засобами, що і основний збуджений діагностичний сигнал.

Кожен вимір має максимально можливий захист від випадкових флуктуацій сигналу. Це досягалося тим, що при кожній реалізації елементів плану експерименту вимірювання усереднюються в циклі зі 100 послідовних сканувань спектра з дискретністю спектра в 172,3 від 10 до 20000 Гц. Повнофакторний експеримент з рандомізації факторів дозволив сформувати базу даних, де факторами були координати позиціонування виконавчого механізму експериментального стенду (X_i, Y_i, Z_i).

За показниками створеної експериментальної бази були побудовані нейромережеві моделі діагностики:

- конфігурації механізму;
- геометричних параметрів механізму при працюючому мотор-шпинделі;
- динаміки переміщення вузлів механізму експериментального стенда зі змінною швидкістю і навантаженням на привід;
- зміни температури об'єкта.

Це дозволило вирішувати такі завдання управління об'єктами:

- підвищення точності позиціювання виконавчого механізму об'єкта;
- забезпечення динамічного настроювання виконавчого механізму;
- оптимізація траєкторій переміщень робочого органу.

Математична модель створена в комп'ютерному пакеті NeuroPro-0,25, що реалізують принцип коннекціонності:

Створені нейромережеві моделі були піддані перевірці на адекватність за критерієм Фішера.

Адекватність моделей підтверджена багатократним перевищенням розрахункового значення критерію Фішера над його табличним значенням для заданої ймовірності помилки для моделей m-входів – частотних діапазонів акустичного спектра, побудованих на n-рядків кортежу вихідних даних.

Для створення інтелектуальної системи управління основними складовими елементами виробництва, що реконфігурується, розроблено методику акустичної діагностики для механізмів технологічних машин (верстатів-роботів), що дозволяють діагностувати різні їх стани в різних умовах. Показана можливість використання запропонованого підходу до управління складними технологічними машинами, такими, як верстати з механізмами на основі паралельної кінематики для підвищення точності позиціонування виконавчих механізмів, забезпечення їх динамічної настройки і оптимізації траєкторій переміщень робочих органів обладнання (в тому числі – ріжучого інструмента). Все це дозволяє розширити діапазон можливостей підвищення точності і продуктивності їх роботи.

Концепція впровадження запропонованого підходу передбачає наявність у механоскладальному цеху таких підрозділів, як:

- заготівельна ділянка на основі машини безперервного лиття заготовок у поєднанні з деталепрокатним станом;
- механічна ділянка, що представляє собою майданчик для монтажу мобільних верстатів із системою інтелектуального управління;
- ділянка складання-розбирання мобільних верстатів з кінематикою паралельної кінематики,
- ділянка складання основної продукції.

Висновки

На основі представлених розробок авторів сформована концепція багатономенклатурного реконфігуруючого виробництва, заснованого на принципово новому підході до компонування, зокрема, механоскладального цеху конкурентоспроможного виробництва із застосуванням мобільних інтелектуальних верстатів з кінематикою паралельної структури.

Пошук складних траєкторій зі змінними координатами і похідними першого і другого порядку від траєкторії переміщення дозволяють визначати і прогнозувати стан об'єкта в будь-який момент часу. Тим самим створюються умови для управління становищем робочого органу мобільного верстата-робота з урахуванням поточних умов роботи верстата-робота (добре і слабо формалізованих) змінних факторах.

Література

1. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.
2. Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу) : монографія / С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська, Є.О. Коржов, А.О. Кошевой; за заг. ред. д.т.н., проф. С.В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 186 с.
3. Кириченко А.М. Проведення до зони обробки жорсткості та податливості обладнання з механізмами паралельної структури / А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2010. – №59. – С. 205-210.
4. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Скляров Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
5. Смирнов В.А. Кинетостатическое моделирование энергоэффективного управления оборудованием с параллельной кинематикой / В.А Смирнов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2010. – Вып. 16. – № 29. – С. 65-70.
6. Смирнов В.А. Повышение производительности обработки на оборудовании с параллельной кинематикой / В.А Смирнов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2010. – Вып. 15. – № 10 (186). – С. 72-76.
7. Струтинський В.Б. Теоретичній аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2009. – № 57. – С. 198-207.

8. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Van Brussel, H., 1999, Reconfigurable Manufacturing Systems, A Keynote Paper, Annals of the CIRP, 48/2:527-540.
9. Юнин И.Ю. Перекомпонуемые производственные системы реконфигурируемого производства/ И.Ю. Юнин, Л.Н. Феофанов// Технология машиностроения, – М., 2008. – 12. – С. 53-62.
10. Королькова М.М. Реконфигурованные производственные системы/ М.М. Королькова, О.А. Дащенко// Технология машиностроения, – М., 2009. – 1. – С.56-62.
11. Chen L., Xi F., Macwan A., 2005, «Optimal Module Selection for Preliminary Design of Reconfigurable Machine Tools», Journal of Manufacturing Science and Engineering, 127(1): 104-115.
12. Vassilvitskii S., Kubica J., Rieffel E., Yim M.H., Suh J.W., 2002, «On the General Reconfiguration Problem for Expanding Cube Style Modular Robots», IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington, D. C., 801-808.
13. Hoda A. ElMaraghy, Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Springer Series in Advanced Manufacturing, 2009, 403 p.
14. Koren Y. The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems, Copyright, 2010, 422 p.
15. Dashchenko A.I. Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, Springer Series in Advanced Manufacturing, 2009, 757 p.

Literatura

1. Vejko V.P., Smirnov V.N., Chirkov A.M., Shahno E.A. Lazernaja ochistka v mashinostroenii i priborostroenii [Laser cleaning in mechanical engineering and instrument making]. – SPb: NIU ITMO, 2013. – 103 s.
2. Kovalevs'kyy S.V., Kovalevs'ka O.S., Korzhov Ye.O., Koshevoy A.O. Diahnostyka tekhnolohichnykh system i vyrobiv mashynobuduvannya (z vykorystannyam neyromerezhevoho pidkhodu) : monohrafiya [Diagnostics of technological systems and products of mechanical engineering (using neural network approach): monograph] / Kramators'k : DDMA, 2016. – 186 s.
3. Kyrychenko A.M. Provedennya do zony obrobky zhorstkosti ta podatlyvosti obladnannya z mekhanizmamy paralel'noyi struktury [Conducting to the zone of processing rigidity and compliance of equipment with mechanisms of parallel structure] / A.M. Kyrychenko // Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrayini „Kyyivs'kyy politekhnichnyy instytut”. Seriya „Mashynobuduvannya”. – 2010. – #59. – S. 205-210.
4. Kryzhanivs'kyy V.A., Kuznyetsov Yu.M., Valyavs'kyy I.A., Sklyarov R.A. Tekhnolohichne obladnannya z paralel'noyu kinematykoyu: Navchal'nyy posibnyk dlya VNZ. Pid red. Yu.M. Kuznyetsova. [Technological Equipment with Parallel Kinematics: A Manual for Higher Educational Establishments] – Kirovohrad, 2004. – 449 s.
5. Smirnov V.A. Kinetostaticheskoe modelirovanie jenergojeffektivnogo upravlenija oborudovaniem s parallel'noj kinematikoj [Kinetostatic modeling of energy-efficient equipment control with parallel kinematics] / V.A Smirnov // Vestnik JuUrGU. Serija «Mashinostroenie». – 2010. – Vyp. 16. – № 29. – S. 65-70.
6. Smirnov V.A. Povyshenie proizvoditel'nosti obrabotki na oborudovanii s parallel'noj kinematikoj [Improving processing performance on equipment with parallel kinematics] / V.A Smirnov // Vestnik JuUrGU. Serija «Mashinostroenie». - 2010. - Vyp. 15. - № 10 (186). - S. 72-76.
7. Strutyns'kyy V.B. Teoretychniy analiz zhorstkosti shestykoordynatnoho mekhanizmu paralel'noyi struktury [Theoretical analysis of the stiffness of the six-coordinate mechanism of a parallel structure] / V.B. Strutyns'kyy A.M. Kyrychenko // Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrayini „Kyyivs'kyy politekh-nichnyy instytut”. Seriya „Mashynobuduvannya”. – 2009. – # 57. – S. 198-207.
8. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Van Brussel, H., 1999, Reconfigurable Manufacturing Systems, A Keynote Paper, Annals of the CIRP, 48/2:527-540.
9. Junin I.Ju. Perekomponuemye proizvodstvennye sistemy re konfiguriruemo go proizvodstva [Re-assembled production systems for configurable production]/ I.Ju. Junin, L.N. Feofanov// Tehnologija mashinostroenija,-M., 2008.-12.- S. 53-62.
10. Korol'kova M.M. Rekonfihurovani proyzvodstvennые system [Reconfigured production systems] / MM. Korol'kova, OA. Dashchenko// Tekhnolohyya mashynostroenyya.- M., 2009.- 1.- S.56-62.
11. Chen L., Xi F., Macwan A., 2005. - “Optimal Module Selection for Preliminary Design of Reconfigurable Machine Tools,” Journal of Manufacturing Science and Engineering, 127(1): 104-115.
12. Vassilvitskii S., Kubica J., Rieffel E., Yim M.H., Suh J.W.- 2002. “On the General Reconfiguration Problem for Expanding Cube Style Modular Robots,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington, D. C., 801-808.
13. Hoda A., Maraghy E., Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Springer Series in Advanced Manufacturing, 2009, 403 p.
14. Koren Y. The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems, Copyright, 2010, 422 p.
15. Dashchenko A.I. Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, Springer Series in Advanced Manufacturing, 2009, 757 p.

RESUME

S.V. Kovalevskyy, O.S. Kovalevska

Concept of reconfiguated production on the base of mobile intelligent technology machines

A method has been developed to identify the position, kinematic and dynamic parameters of mechanisms with parallel kinematics, of which mobile robotic machines are composed. The excitation of the design of the experimental stand by a low-power acoustic signal with the distribution of signals of the same amplitude makes it possible to establish the dependencies, where - the exciting signal, - the coordinates of the actual point of the object. These data can be used to control the positioning of the actuator of the parallel kinematics mechanism. In this regard, the purpose of the presented study was to confirm the possibility of a multicomponent analysis of the parameters of objects (processes and equipment). As an informative source of the diagnostic signal, its amplitude-frequency characteristic of the object's own oscillations in the acoustic range should be used.

The algorithm for fast calculation of the discrete Fourier transform using the FFT-analyzer was used for the studies.

A neural network reference model is constructed to diagnose the current characteristics of the object. The choice of diagnosed object characteristics is determined by the object management tasks:

- Increase the accuracy of positioning the actuator of the object;
- provision of dynamic adjustment of the actuator;
- optimization of the trajectories of movements of the working element.

Features of machine tools on the basis of mechanisms with kinematics of a parallel structure allow predicting the evolution of the mechanical assembly production in the direction of further increasing the flexibility of production by reconfiguring machining sites by equipping them with intelligent machine tools from normalized robots.

The concept of a control system for the accuracy and productivity of a mobile machine is proposed. This became possible with the use of an intelligent control system on deep neural networks of cascade architecture.

An approach has been developed in which the formation of the composition and volume of the main and auxiliary equipment in the mechano-assembly production is determined not by the established traditions and the possibilities for its renewal, but by the nomenclature of products that at the moment is topical and most in demand.

Reconfigurable systems differ from existing systems by their ability to change. The main advantage is the ability to have exactly the given flexibility produced. For manufacturers, it is also very beneficial for the fact that with its ability to be flexible, the RVS is significantly cheaper than existing flexible systems. This is due to the use of cheaper equipment.

To create the intelligent control system, the main constituents of the reconstructed production elements are developed acoustic diagnostic techniques for the mechanisms of technological machines (machines - robots), which allow to diagnose their different states in different conditions. It is shown the possibility of using the proposed approach to the management of complex technological machines, such as machines with mechanisms based on parallel kinematics to improve the accuracy of the positioning of actuators, ensuring their dynamic adjustment and optimizing the trajectories of displacements of work equipment bodies (including cutting tools). All this allows you to expand the range of opportunities to improve the accuracy and performance of their work.

This approach allows you to adapt the production capabilities to produce different products.

Надійшла до редакції 10.05.2017

